

1. はじめに

崩壊土砂が擁壁などに衝突した際の衝撃荷重を推定するために実験及び計算方法に係る研究が進められてきた(水山ら, 1979; 仲野ら, 1984; 内田ら, 2004; 阿知波ら, 2003)。近年では DDA (不連続変形法) を用いて崩壊した斜面を固体粒子の集合体としてモデル化し衝撃力と到達距離を解析した例がある⁵⁾。DDA の他に粒子の集合体をモデル化する手法としては、DEM (個別要素法) が挙げられ、ここでは粒状体個別要素法と呼ぶ。これらの手法が取り扱える粒子数には限りがあるので、砂のように細かい粒子一つ一つの運動を解析することは難しい。しかし、入力パラメータなどを調整することで解析で用いる粒子集合と構造物の間に発生する力が、実際の衝撃力と等価になれば、細粒成分の一つ一つをモデルする必要はないと考えられる。

本解析の目的は粒状体個別要素法において、どのようなパラメータを設定すれば砂のような崩土が構造物に衝突した場合の衝撃荷重を表すことができるのかを調べることにある。また、衝撃力の大きさを左右する要因についても検討した。

2. 解析条件と解析ケース

本解析では粒子の力学特性を表すパラメータの他に 2 次元と 3 次元モデルの違い、粒子同士が接着して固まって落下する場合の影響を調べた。また、衝突する壁の高さなどを変えて粒子が壁から流出するケースを実施した。

粒子の力学特性を表すパラメータとしては、粒子間または粒子と壁の接触点における鉛直方向及び接線方向のばね係数(K_n , K_s)、摩擦係数(ϕ)、鉛直方向及び接線方向の臨界減衰係数(β_n , β_s)、回転抵抗係数がある。本解析において変化させたパラメータは、臨界減衰係数、粒子と底面間の摩擦係数であり、その他のパラメータは固定した。

崩土の量や落下方法は、既往の実験¹⁾を参考にし、高さ 0.2m、底面の長さ約 1.0m にパッキングした土砂を落下させ、末端に越流しないような壁を設けて衝撃力を測った(図 1)。しかし、文献¹⁾から土砂の重量や流路幅は、わからなかったため、それぞれ 2.4kN、0.6m

と想定し体積は約 0.1m³とした。

解析モデルの幅と粒子の密度は以下のように設定した。本解析において 2 次元とは、球形粒子の Y 方向(流路に垂直方向)の動きを固定したモデルである。また 3 次元解析では、解析時間の制約から取り扱う粒子数を 2000 以下にするために想定した流路の幅よりも狭い 0.1m とした。ただし、粒子の全重量は 2 次元及び 3 次元とも 2.4kN となるように粒子の密度を調整した。すなわち、重量は一定にし他のパラメータを調整することで、衝撃力の時間変化を表そうとするものである。したがって、DEM 粒子は実際の粒子よりも重く、一個の DEM 粒子が実際の粒子の集合体を表すものと考えた。

粒子群は表-1 のように設定し、各粒径の粒子の合計総重量(0.8kN)が同じなるようにした。

表 1 粒子の設定

粒子の直径 (mm)	粒子の個数 2次元	粒子の個数 3次元	粒子の重さ (kN)
40	42	159	0.8
30	75	377	0.8
20	170	1273	0.8

3. 解析結果

(1) ケース 1 (臨界減衰係数 β の影響)

4通りの臨界減衰係数 β について解析した結果を図 2 に示す。横軸の時間は落下開始時点をとしている。ここで $\beta = 0.59$ は、一個の粒子と壁が衝突した際の反発係数=0.1 に相当する。図 2 に示すように β が 0.59 以上の範囲ではその影響が小さい。

(2) ケース 2 (2次元と3次元モデルの比較)

図 3 に示すように 2次元解析から求められた衝撃力は 3次元解析結果より衝撃荷重のピークが 4割高い。これは 2次元モデルの粒子一個の重さが 3次元モデルの 5倍程度であることに起因している。

(3) ケース 3 (底面摩擦の影響)

摩擦係数を高くするにつれて、衝撃時の平均速度が小さくなる結果、衝撃荷重は小さくなる(図 4)。

(4) ケース 4 (粒子間強度の影響)

粒子間の引張及び粘着力を 20kN、50kN に設定すると、10個以上の粒子からなる固まりが形成されて衝突するため、衝撃荷重のピークは大きくなる(図 5)。

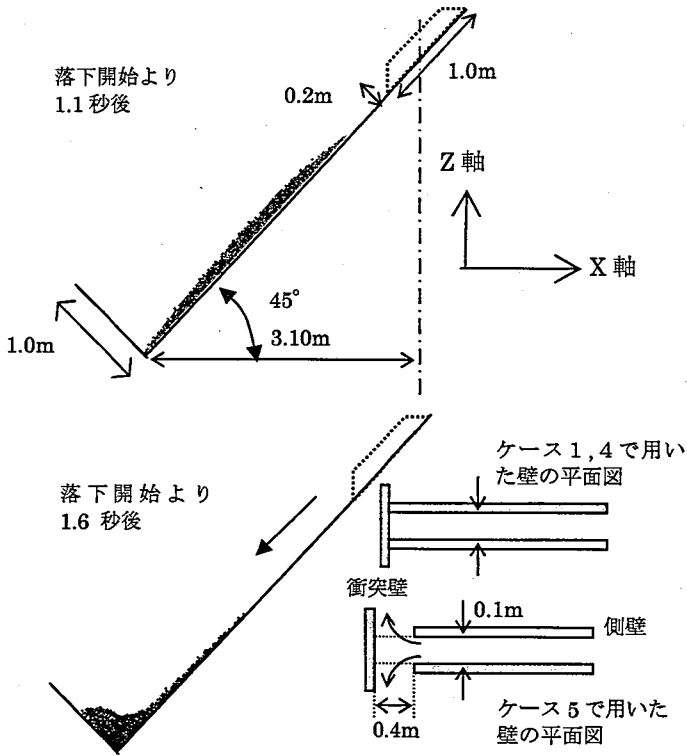


図 1 3次元解析(底面摩擦=0.5, $\beta=3.0$, 粒子タイプD)

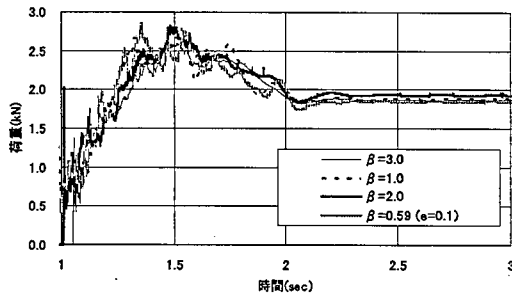


図 2 臨界減衰係数 β の違いによる衝撃力の時間変化

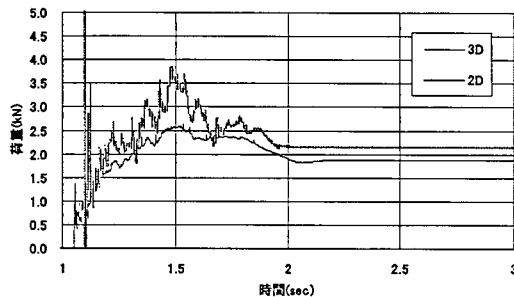


図 3 2次元と3次元の違いによる衝撃力の時間変化

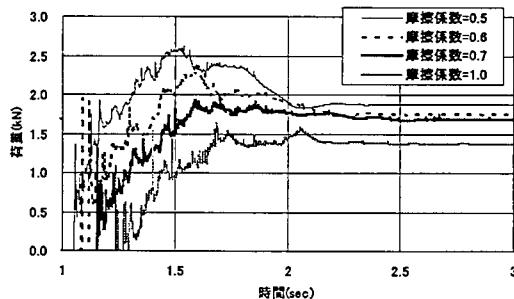


図 4 底面摩擦の違いによる衝撃力の時間変化

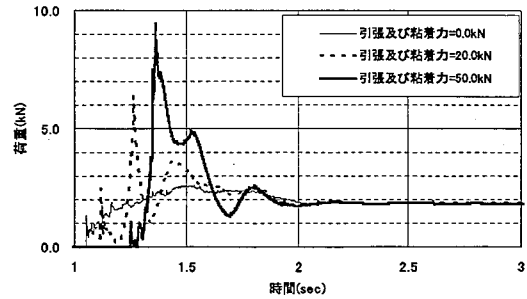


図 5 粒子間の強度の違いによる衝撃力の時間変化

(5) ケース5(衝突壁の高さと側壁の長さを変えた解析)

衝突壁の高さを低くし0.2mにすると、粒子が越流するので最大荷重は低くなる(図6)。さらに、衝突壁手前0.4mまでの側壁を除去し、側面から粒子が流出するように設定して解析したところ、衝突壁を越流する粒子が減るため最大荷重の減少幅は小さくなる。

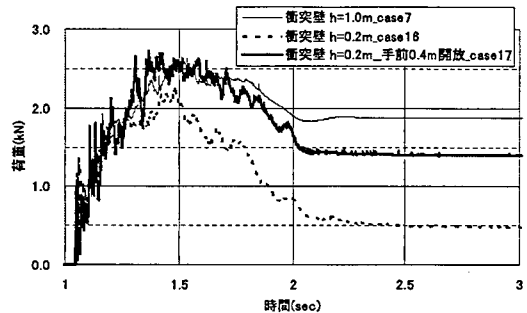


図 6 衝突壁の設定の違いによる衝撃力の時間変化

5. まとめ

本解析で得られた衝突荷重の継続時間(約1秒)の傾向は既往の実験結果¹⁾と概ね整合している。しかし、解析から求めた最大荷重は、実験結果(崩土量0.1m³で1.5kN)に比べて高い傾向にある。これは底面摩擦か越流の有無に起因していると考えられる。今後はさらに実験との整合性を図り、適切な粒子数と粒度分布の設定方法についても研究する必要がある。

参考文献

- 1) 内田太郎, 曾我部匡敏, 寺田秀樹, 松田義則, 吉川修一, 亀田信康: 崩土の衝撃荷重の時間変化に関する実験的研究, 平成16年度砂防学会研究発表会, p350-351, 2004.
- 2) 阿知波秀彦, 杉山友康, 太田直之, 草野國重, 布川修, 小林徹: 崩土の衝撃力に関する小型模型実験, 第38回地盤工学研究発表会, p2191-2192, 2003.
- 3) 仲野公章, 右近則男: 砂質崩土が擁壁に及ぼす衝撃力に関する実験, 土木技術資料 26-12, p10-15, 1984.
- 4) 水山高久: 砂防ダムに対する土石流衝撃力算定とその問題点, 新砂防, No112, p40-43, 1979
- 5) Guangqi Chen, Kouki Zen: Movement and Impact Force of Earth and Rock Mass from Landslide, COMPUTATIONAL MECHANICS, WCCM in conjunction with APCOM' 04, p1-7, 2004